

Таким образом, анализ тепловой работы и материальный баланс плавки стали марки 35ГС на ДСП-120 позволил оценить объем шихты в рабочем пространстве, активно участвующей в теплообмене с продуктами сгорания природного газа и кислорода, с учетом ее насыпной плотности. Расчет теплофизических свойств (коэффициент теплопроводности, теплоемкости и температуропроводности) выполнен с использованием действительных расходов, загружаемых в печь компонентов и слоя шихты, с учетом порозности. Предложенная методика расчета коэффициента теплоотдачи в объеме слоя шихты с использованием действительных теплофизических свойств шихты в проверочном расчете показала надежную сходимость.

Список использованных источников

1. Белковский А.Г., Кац Я.Л., Краснянский М.В. Современное состояние и тенденции развития технологии производства стали в ДСП и их конструкции // Черная металлургия: Бюлл. ин-та «Черметинформация». 2013. № 3. – С. 72-78.
2. Alam M., Naser J., Brooks G., Fontana A. Computational fluid dynamics modeling of supersonic coherent jets for electric arc furnace steelmaking process // Metallurgical and materials transactions b. 2010. Vol. 41B. Pp. 1354-1367.
3. Миснар А. Теплопроводность твердых тел, жидкостей, газов и их композиций. – М.: «Мир». 1968. – 464 с.
4. Чиркин В.С. Теплофизические свойства материалов. – М.: Физматгиз, 1959. – 356 с.
5. Чиркин В.С. Теплопроводность промышленных материалов. – М.: Машгиз, 1962. – 247 с.
6. Металловедение: учебник. Т.1 / И.И. Новиков и др.; под общей ред. проф. В.С. Золоторевского. – М.: Издательский дом «МИСиС», 2009. – 496 с.
7. Казанцев Е.И. Промышленные печи: справочное руководство для расчетов и проектирования. – М.: Металлургия, 1975. – 368 с.
8. Подготовка руд и доменный процесс. Том 1. Справочник / под ред. Е.Ф. Вегмана. – М.: Металлургия, 1989. 495 с.
9. Tomson M. The Total a. Free Energies of Formation of the Oxides of 32 Metals, New York, 1942.
10. Явойский В.И. Теория процессов производства стали. – М: «Металлургия», 1967. – 792 с.

УДК 536.423.1

Ю. М. Голдобин, Н. С. Поротников

ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия

ОБ ИСПАРЕНИИ ПОЛИДИСПЕРСНОЙ СИСТЕМЫ КАПЕЛЬ ЖИДКОГО ТОПЛИВА В ИНЕРТНОЙ СРЕДЕ

Аннотация

На основе кинетического уравнения и полученной скорости испарения одиночной капли определены текущая и начальная функции распределения частиц по радиусам для автомобильного режима испарения полидисперсной системы капель жидкого топлива в инертной среде. Получены автомобильные параметры системы, уравнение для расчета доли неиспарившегося к текущему моменту времени топлива и изменения температуры среды в процессе испарения капель.

Ключевые слова: испарение; капли; жидкое топливо; полидисперсность; автомобильные параметры; функция распределения.

Abstract

The current and initial particle radius distribution functions for the automodel regime of polydisperse liquid fuel droplet system in inert ambient were derived based on the kinetic equation and single droplet evaporation rate. The automodel system parameters and equation for modelling the fraction of currently unevaporated fuel and ambient temperature change during evaporation of the droplets were obtained.

Keywords: evaporation; drops; liquid fuel; polydispersity; automodel parameters; distribution function.

При описании процесса испарения полидисперсность системы капель распыленного жидкого топлива учитывается путем введения функции распределения частиц по радиусам $f(r_s, t)$, которая определяется на основании решения кинетического уравнения с учетом скорости испарения единичной капли [1].

Считаем, что испаряются капли, взвешенные в горячей среде не имеющие скольжения относительно потока газов, из этого следует что $Nu = 2$. На основании этого решение кинетического уравнения может быть представлено в виде

$$w(r, t) = \frac{dr}{dt} = -\frac{1}{r} \cdot \frac{\lambda_e (T_{cp} - T_0)}{\rho_k L} = \Omega(r) \cdot w(t), \text{ где } \Omega(r) = \frac{1}{r}, \quad (1)$$

где r – радиус капли; t – время; L – теплота парообразования.

Здесь скорость испарения является произведением двух функций $\Omega(r)$, зависящей только от координаты капли, и $w(t)$ – зависящей от температуры среды, то есть от времени испарения t .

В таком случае функцию распределения частиц по радиусам $f(r, t)$ можно представить в виде произведения двух функций, зависящих только от координаты и времени. Такое представление позволит решить кинетическое уравнение для функции распределения $f(r, t)$

$$\frac{\partial f(r, t)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial r} [w(r, t) \cdot f(r, t)] = 0. \quad (2)$$

Подстановка уравнения (1) в (2) позволяет получить методом разделения переменных Фурье общее решение функции распределения $f(r, t)$, записанное в виде ряда, а через некоторое время t_0 поведение функции распределения будет определяться только первым членом ряда, то есть наступит автомодельный режим испарения и функция распределения примет вид [1].

$$f(r, t) = A \Omega^{-1} \cdot \exp \left[-a \int \Omega^{-1} dr \right] \cdot \exp \left[a \int_{t_0}^t w(t) dt \right], \quad (3)$$

где A и a – константы интегрирования и разделения, требующие определения.

При $t = 0$ имеем начальную функцию распределения частиц по радиусам

$$f(r, 0) = f_0(r) = A \Omega^{-1} f(r) \cdot \exp \left[-a \int \Omega^{-1} dr \right] \quad (4)$$

Тогда текущая функция распределения может быть записана в виде

$$f(r, t) = f_0(r) \cdot \exp \left[a \int_{t_0}^t w(t) dt \right]. \quad (5)$$

Зная функцию распределения $f(r, t)$, можно получить основные характеристики автомодельной полидисперсной системы, которые приводятся ниже.

Доля неиспарившегося топлива

$$y(t) = \frac{M_{\kappa}}{M_{\kappa 0}} = \frac{N(t) \langle r^3 \rangle}{N_0 \bar{r}_0^3} = \frac{1}{\bar{r}_0^3} \int_0^{\infty} r^3 f(r, t) dr = \exp \left[a \int_0^t w(t) dt \right], \quad (6)$$

где M_{κ} , $M_{\kappa 0}$ – текущая и начальная массы капель топлива; $N(t)$, N_0 – текущее и начальное число капель в системе; \bar{r}_0 – средний начальный радиус капли. Текущее число капель, не испарившихся к моменту времени t , определяется как

$$N(t) = N_0 \int_0^{\infty} f(x, t) dx = N_0 y(t). \quad (7)$$

Подстановка в (3) и (4) конкретного вида функции $\Omega(r)$ из (1) позволяет получить начальную

$$f_0(r) = A \cdot r \cdot \exp \left[-\frac{a}{2} r^2 \right] \quad (8)$$

и конечную

$$f(r, t) = A \cdot r \cdot \exp \left[-\frac{a}{2} r^2 \right] \cdot A \cdot r \cdot \exp \left[a \int_{t_0}^t w(t) dt \right] \quad (9)$$

функции распределения.

Из уравнения (6) получаем дифференциальное уравнение для расчета доли неиспарившегося к заданному моменту времени топлива y .

$$\frac{dy}{dt} = -a \cdot \mathcal{G} \cdot y. \quad (10)$$

Для его решения необходимо подставить текущую температуру среды \mathcal{G} , выраженную из теплового баланса системы (11) и связанную с долей неиспарившегося топлива y .

Теплота идущая на испарение капель топлива отбирается от теплоты смеси инертного газа и уже образовавшихся паров топлива, прогретых от температуры насыщения до температуры инертной среды. Уравнение теплового баланса имеет вид

$$(M_g c_g + M_n c_n) \frac{d\mathcal{G}}{dt} = L \frac{dM_{\kappa}}{dt}. \quad (11)$$

где M_g , M_n – массы газа и пара; c_g , c_n – теплоемкости газа и пара.

Из рассмотрения теплового баланса системы (11) и дифференциального уравнения (10) получается связь доли неиспарившегося топлива $y(t)$ с избыточной температурой паров топлива (температурой среды) $\mathcal{G}(t)$, что позволяет получить решение для $y(t)$ в виде

$$y(t) = (\mathcal{G}_0 - \mathcal{G}^*) \cdot \left\{ \mathcal{G}_0 \cdot \exp \left[a^* \cdot (\mathcal{G}_0 - \mathcal{G}^*) \cdot t \right] - \mathcal{G}^* \right\}^{-1}, \quad (12)$$

где $\mathcal{G}_0 = (T_{cp,0} - T_s)$; $T_{cp,0}$ – начальная температура среды; T_s – температура кипения жидкого топлива; $\mathcal{G}^* = \frac{\mu \cdot L}{c_g}$; $a^* = \frac{a \cdot \lambda_g}{\rho_{жс} \cdot L}$; $a = \frac{2\Gamma^2(3/2)}{r^2}$; μ – начальная концентрация капель топлива; Γ – гамма-функция; λ_g – коэффициент теплопроводности газа, $\rho_{жс}$ – плотность жидкости.

Зависимость температуры среды от доли испарившегося топлива

$$\mathcal{G} = \mathcal{G}_0 - \frac{L}{c_n} \cdot \ln \left[1 + \frac{\mu \cdot c_n}{c_g} (1 - y) \right]. \quad (13)$$

Расчеты по полученному уравнению для средней температуры среды в процессе испарения капель показали, что температура среды падает незначительно.

На рисунке 1 представлены зависимости долей неиспарившегося топлива от времени. Зависимости рассчитаны для керосина со следующими характеристиками: $L = 220 \text{ кДж / кг}$, $T_{cp,0} = 1473 \text{ К}$, $T_s = 477 \text{ К}$, $\rho_{жс} = 685 \text{ кг / м}^3$.

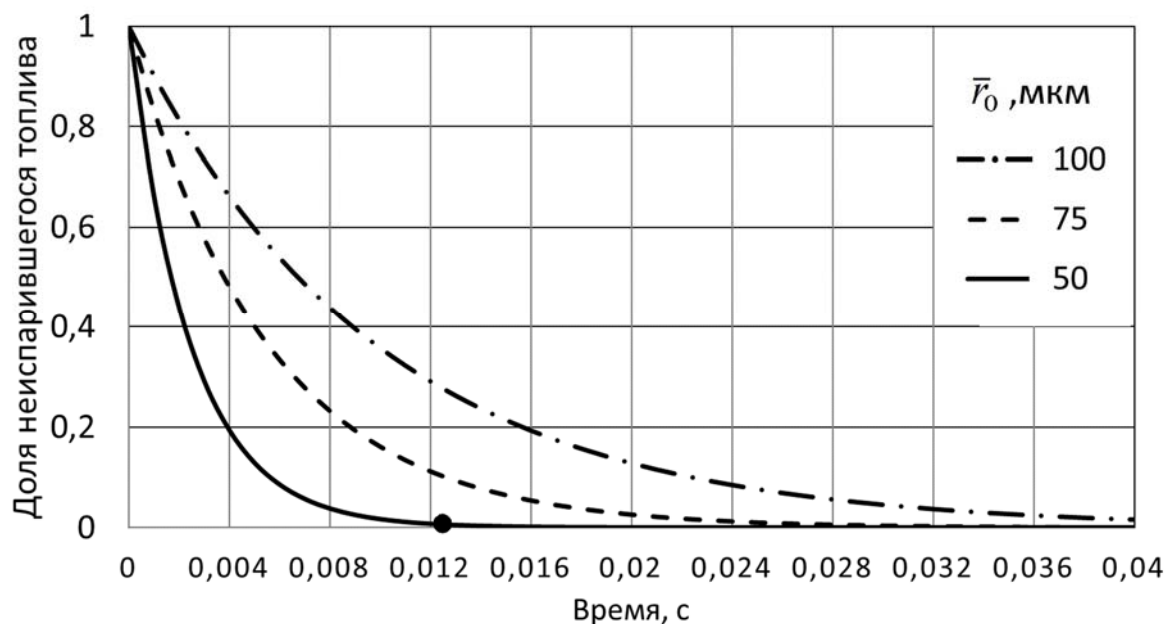


Рис. 1. Зависимость доли неиспарившегося топлива y от времени t

Точкой показано расчетное время испарения капли солярового масла с начальным радиусом $r_0 = 50 \text{ мкм}$ в газовом потоке с температурой $T_{cp,0} = 1470 \text{ К}$ [2].

Выводы

1. Для проведения расчётов необходимо экспериментально определить или задаться средним начальным размером частиц.
2. Предлагаемая методика расчёта адекватно описывает эволюцию капель жидкого топлива в инертной среде.

Список использованных источников

1. Ясников Г.П. О кинетике автомодельного режима испарения полидисперсной системы капель. – Минск, ИФЖ, том XLII, №2, 1982. – С. 243–250.
2. Померанцев В.В. Основы практической теории горения: учеб. пособие для вузов. 2-е изд. – Л.: Энергоатомиздат, 1986. – 299 с.

УДК 620.191.32

О. С. Горшкова, В. И. Матюхин

ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА БРИКЕТИРОВАННОЙ ОБЕЗМАСЛЕННОЙ ОКАЛИНЫ

Аннотация

Одной из важнейших тенденций стратегии развития металлургической промышленности России на период до 2020 года является ресурсосбережение и снижение негативного экологического воздействия на фоне повышения стоимости энергоресурсов и требований к